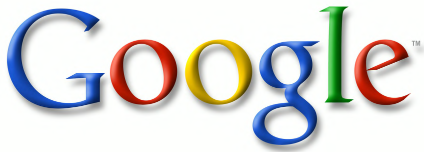
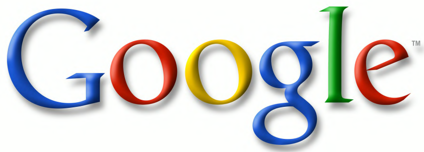




LES

VISÉES DE LA SISMOLOGIE MODERNE

PAR

de MONTESSUS de BALLORE

Extrait de la *REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES*, avril 1904

LOUVAIN
IMPRIMERIE POLLEUNIS ET CEUTERICK
32, RUE DES ORPHELINS, 32.
Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

1904

LES

VISÉES DE LA SISMOLOGIE MODERNE

PAR

de MONTESSUS de BALLORE

Extrait de la *REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES*, avril 1904.

LOUVAIN
IMPRIMERIE POLLEUNIS ET CEUTERICK
32, RUE DES ORPHELINS, 32.
Même maison à Bruxelles, 37, rue des Ursulines.

1904

LES

VISÉES DE LA SISMOLOGIE MODERNE [1]

Les tremblements de terre constituent un des phénomènes de la physique du globe les plus redoutables pour l'homme et les constructions. Chaque année, c'est par milliers de victimes et par millions que l'on peut chiffrer leur bilan. Aussi n'est-il pas surprenant que, depuis que les hommes raisonnent sur ce qui les entoure et les frappe, ils s'en soient préoccupés. Peu d'écrits généraux, histoire, voyages, littérature même, qui n'en renferment quelques récits ou dans lesquels on ne rencontre des réflexions à leur sujet. Dix-huit siècles avant notre ère, les annales chinoises en donnent des recueils, et les catalogues japonais commencent au IIIe siècle, pour ne citer que des documents n'appartenant pas à nos classiques.

Malheureusement pendant des siècles et des siècles le mystère ne s'est point éclairci, et d'un énorme fatras de conceptions fantaisistes n'est pour ainsi dire sorti qu'une sorte de fatalisme inconscient, en face de catastrophes aussi énigmatiques qu'inévitables et devant lesquelles il n'y aurait qu'à courber la tête sous le fléau de Dieu. La science moderne a d'autres visées : elle veut savoir pourquoi et comment la terre tremble, elle veut mettre les édifices à l'abri des chocs — à quoi n'aspire-t-elle pas ? — elle veut prévoir les tremblements de terre.

(1) Conférence faite à l'assemblée générale de la Société scientifique, à Bruxelles, le 28 janvier 1904.

Quand on veut se procurer, pour les étudier, un grand nombre de tremblements de terre, ou établir la liste de ceux qui ont ébranlé un pays, on commence par compulser les recueils d'observations météorologiques qui, au XIXe siècle, ont pris un si énorme développement ; c'est dire que pendant longtemps les secousses du sol ont figuré parmi les curiosités, les faits divers pour ainsi dire, de la météorologie. Mais en même temps, et comme il était naturel, cette science leur a fait appliquer la recherche de lois périodiques, ou de relation avec la température, la pression barométrique, les saisons, enfin avec les phases de la lune, dernière et universelle panacée scientifique à laquelle n'a échappé aucune connaissance humaine. Il a bientôt fallu se rendre à l'évidence : les tremblements de terre se dérobent à toute statistique de ce genre, car ce sont des phénomènes de la vie interne du globe qui n'ont rien à faire avec les astres et ne sont soumis à aucune influence extérieure à notre planète. Dès lors, à cette constatation, la Sismologie, ou science des tremblements de terre, s'affranchissant de la météorologie, devenait autonome et conquérait si rapidement sa place au soleil qu'elle a maintenant ses adeptes spécialisés, ses instruments particuliers et ses propres observatoires. Un tel essor, atteint d'emblée en quelque vingt-cinq ou trente années, est presque unique dans l'histoire des sciences, et c'est l'ensemble des visées de la sismologie, sortie de ses langes, que la Société m'a fait l'honneur de me charger de vous exposer, au moins dans les grandes lignes.

Que l'on ressente un violent ébranlement de la pièce où l'on se trouve, il ne viendrait à personne de bon sens l'idée de sortir vivement pour voir si l'état du ciel peut expliquer un fait aussi étrange. C'est pourtant ce que l'on faisait autrefois, et l'on se gardait d'aller à la cave, je veux dire aux entrailles de la terre, pour y chercher la cause des tremblements de terre. Leur nom seul montrait bien cependant où il fallait les étudier et là seulement.

C'est tellement vrai que les grands séismes sont parfois accompagnés de visibles et désastreuses perturbations de la surface terrestre. La formation de l'Allah-Bund, ou digue de Dieu, dans le delta de l'Indus en 1819, une dénivellation d'une vingtaine de mètres sur près de deux cents kilomètres de long, dans le Japon central en 1891, sont des phénomènes de ce genre qui suffisent, par la production de ces failles gigantesques, à changer la configuration de tout un pays et sont des événements historiques plus intéressants que beaucoup de ceux autour desquels s'agite la pauvre humanité.

Les tremblements de terre apparaissent ainsi comme le résultat des grands mouvements de l'écorce terrestre sous l'influence de son refroidissement séculaire. Devenant robe trop ample pour le noyau, il faut bien que, sous l'action de la pesanteur qui la force à en épouser la forme, elle se plisse d'abord, puis se fendille et se brise enfin, faisant saillir les montagnes et creuser les océans. Mais tout cela ne va pas sans des ébranlements, petits ou grands, cela ne se prépare même pas sans des frémissements proportionnés aux masses en jeu. Ce sont ces mouvements que nous ressentons sous forme de séismes.

Il ne tremble pas également sur toute la surface de la terre. Certains pays comme le Japon, le Chili, le Centre-Amérique, les Philippines, les Indes Néerlandaises, etc., sont pour ainsi dire en perpétuel mouvement. On est donc amené à faire la description sismique du globe, et les observations se sont tellement développées partout que l'on peut maintenant établir cette géographie d'un nouveau genre. Ce travail a montré immédiatement que les pays ébranlés se trouvent généralement au pied des hautes chaînes, ou au bord des abîmes océaniques les plus profonds. C'est dire que les tremblements de terre sont liés à la formation des traits géographiques principaux, là où un compartiment de l'écorce brisée se dresse pour constituer une chaîne le long de sa tranche relevée et où le

voisin, le plus souvent sous-marin, s'effondre, deux lentes actions simultanées qui permettent à l'écorce de toujours habiller le noyau sans vide intermédiaire. Le long de la cassure elle frémit sous l'effort, en un mot, il y tremble.

En a-t-il toujours été ainsi ? Assurément oui. Toutes les failles, ces fractures linéaires qui font correspondre à la surface du sol les terrains les plus anciens avec les plus modernes et qui, en Belgique par exemple, font le désespoir des mineurs lorsque la riche couche de houille s'arrête brusquement et qu'il faut aller la relancer plus haut ou plus bas, tous ces accidents se sont produits avec des tremblements de terre, qui à ces lointaines époques n'ont pu effrayer que les étranges et gigantesques créatures des faunes éteintes, si tant est qu'elles y fissent attention. Mais la faille ou la dislocation une fois produites, il ne s'ensuit pas que l'écorce ait repris son équilibre. Pendant longtemps, et il faut entendre ce mot dans le sens géologique, les couches continuent de vibrer, parce que la rupture n'a pas épuisé tout l'effort. Les parties brisées ne cessent de peser l'une contre l'autre et de temps en temps l'une cédera brusquement, d'où tremblement de terre, sans qu'aucun signe extérieur ne vienne accuser l'accident géologique en cause s'il s'est écoulé assez de temps depuis sa formation pour que des dépôts subséquents l'aient complètement recouvert. On est ainsi amené à rechercher dans tous les pays quels accidents géologiques correspondent à une survie des efforts auxquels ils doivent naissance et quels autres ont perdu toute vitalité. Quelle surprise si l'on venait un jour à démontrer que la grande faille, dite *du midi*, qui disloque les bassins houillers de la Belgique et du nord de la France, se réveillait encore quelquefois. Et cependant cela n'aurait peut-être rien de fantaisiste, les accidents contemporains du sud de l'Angleterre produisant encore des secousses du sol.

C'est ainsi que les tremblements de terre sont en relation directe avec l'histoire géologique des pays qu'ils

ébranlent. Et si une connaissance profonde de la géologie d'une région en explique les séismes, réciproquement ceux-ci peuvent à l'occasion en éclairer la géologie. Que l'on prenne par exemple un pays plat, comme la plaine Indo-gangétique. Pas de dislocations extérieurement visibles. Cependant le sol est assez instable. La sismologie a fait ici prévoir des dislocations qui ont été ultérieurement découvertes. Ailleurs les tremblements de terre attestent l'existence antérieure d'une ancienne chaîne de montagnes que l'érosion a lentement, mais complètement, rabotée au niveau de la plaine. C'est le cas du sud de la Russie. La chaîne a disparu, et si les dislocations du sous-sol n'en venaient déceler l'existence aux géologues de profession, elles l'affirmeraient à tous par les secousses qui agitent la région au nord-ouest de la mer d'Azov.

La sismologie ne limite point ses investigations au passé de la planète, elle ne craint point d'entrebâiller, timidement sans doute, la porte sur son avenir. Il tremble ici, dit-elle, c'est qu'il s'y prépare des efforts, qui se traduiront un jour par des dislocations importantes, s'ils prennent un développement suffisant. Ou bien le sol devra s'élever ou s'abaisser pour leur obéir, ce sont les *bradisismes* à la faveur desquels les côtes se modifient — les pays flamands en ont connu bien des exemples depuis les temps historiques — ou bien le paysage lui-même se transforme graduellement. Il ne manque pas de pays de montagnes où les vieillards aient, dans le cours d'une longue carrière, vu devenir visibles des clochers qu'ils ne pouvaient dans leur jeunesse apercevoir de leur demeure, et inversement. La géodésie moderne confirme ces résultats et craint à l'égal d'un fléau les tremblements de terre qui dérangent ses signaux et réduisent à néant les pénibles calculs de ses triangulations.

Passé, présent, avenir même de la surface terrestre, ressortissent donc à la sismologie. Quelle autre science pourrait en dire autant ?

Malheureusement il s'en faut et de beaucoup que l'on connaisse la répartition sismique, autant qu'il conviendrait, à la surface de la terre. Les grandes lignes seules en sont connues. Bien des pays se sont mis à cette tâche considérable par une organisation systématique des observations. Les moyens et les bonnes volontés ne manquent pas. En première ligne les réseaux de stations météorologiques, puis les instituteurs publics, les employés des postes, des télégraphes, des chemins de fer, les officiers des postes militaires dans les pays exotiques occupés, les agents consulaires et commerciaux, les missionnaires enfin. Tous ces personnels divers et dévoués ont été ici ou là mis à contribution et partout avec succès. Au bout de quelques années, le récolement des observations et leur discussion par un office central, menés parallèlement avec les études géologiques, permettront aux deux sciences de se donner la main pour le plus grand bien de l'une et de l'autre branche de nos connaissances.

Tous les pays doivent se tenir pour obligés de faire le catalogue des tremblements de terre qui les ont ébranlés depuis l'origine de leurs annales, même ceux qui y sont le moins exposés. La Belgique a le sien depuis le beau travail de mon savant ami, M. Lancaster. Il semblerait que dans le haut moyen âge ils étaient plus graves que maintenant ; mais les documents historiques ne permettent cependant pas de l'affirmer en toute certitude.

Un des plus récents et plus curieux résultats de la répartition de l'instabilité sismique à la surface du globe est celui qu'une statistique portant sur plus de 150 000 tremblements de terre a permis de découvrir l'année dernière. Pour 95 p. c., c'est-à-dire la presque totalité, de ce nombre considérable, les centres d'ébranlement se distribuent presque également le long de deux zones étroites couchées sur deux grands cercles de la sphère terrestre.

L'une d'elles partant du Chili fait tout le tour du Pacifique en suivant la Cordillère des Andes et des Montagnes

Rocheuses jusqu'à l'Alaska et le détroit de Behring, puis redescend au sud par le Kamtchatka, le Japon et les Indes Néerlandaises. C'est presque sans interruption que cette zone circulaire constamment ébranlée fait le tour de l'immense océan, dont la grande profondeur atteste l'existence d'un compartiment effondré depuis les temps géologiques très reculés. D'autre part le bourrelet montagneux, qui l'entoure, est relativement récent, d'où son instabilité.

L'autre zone part des Antilles, passe aux Açores, pénètre en Europe par le bassin de la Méditerranée, se prolonge par la dépression Mésopotamienne, le Golfe Persique et la plaine du Gange au pied de l'Himalaya, puis se poursuit par l'Assam et la Birmanie au bord du colossal massif asiatique central, ou *toit du monde*, pour se terminer à la Nouvelle-Zélande. C'est encore là un grand cercle d'effondrement de la surface terrestre. De toutes parts dominé par de hautes chaînes, Atlas, Pyrénées, Alpes, Caucase et Himalaya, il occupe l'emplacement de deux continents disparus dont l'existence n'est point trop hypothétique, la fameuse Atlantide, entre le Brésil, l'Afrique et l'Europe, la Lémurie, où l'on a voulu voir le berceau du genre humain, entre l'Afrique et l'Australie.

Jetant un regard sur l'histoire géologique la plus reculée, on remarque immédiatement que ces deux zones excluent précisément de leur surface les territoires les plus anciennement continentaux, et que l'action continue des agents atmosphériques a dès longtemps réduits à l'état de plaines légèrement inclinées ou de hauts plateaux sans relief bien accentué. J'ai nommé le Brésil, le Canada, presque toute l'Afrique, l'Arabie, la Russie, la Sibérie, la Mongolie et l'Australie, toutes régions partout sismiquement stables, sauf quelques rares exceptions. La jeunesse et l'instabilité des grandes chaînes de montagnes, la sénilité et la stabilité de ces dernières régions aplanies, ne pouvaient, par un double et saisissant contraste, ressortir plus clairement d'une répartition inattendue des

tremblements de terre, et qui résulte uniquement de l'observation.

Est-ce par hasard que ces deux grands cercles d'instabilité sismique font entre eux un angle à peu près égal à celui de l'écliptique et de l'équateur, cet élément fondamental du système solaire ? On ne sait. Mais la nature n'a point de ces hasards. Cette égalité ouvre entre l'astronomie et la sismologie des horizons nouveaux, qui attendent leur Newton.

Aux secousses destructives, et à celles d'intensités diverses jusqu'à celles simplement sensibles à l'homme, ne se restreignent pas les manifestations sismiques. Il s'en produit une infinité d'autres seulement accusées par les instruments enregistreurs, ou sismographes. Ce sont des mouvements d'une amplitude variable, mais toujours très faible, actionnant ces appareils d'une extrême sensibilité. Toute l'ingéniosité des physiciens et des mécaniciens modernes s'est donné carrière dans leur invention et leur exécution. Il a fallu souvent, pour les établir et utiliser leurs résultats, faire appel aux plus hautes spéculations des mathématiques.

Des observatoires sismologiques ainsi outillés se sont fondés sur toute la surface du globe, dans les pays même les plus tard venus à la civilisation, comme dans la plupart des autres. La Belgique n'a point failli à cette obligation, les observations de M. Lagrange à Uccle en sont la preuve. Grâce aussi à la fameuse Association Britannique pour l'avancement des sciences qui a créé de semblables établissements dans les colonies anglaises les plus éloignées, la surface terrestre est dès maintenant enserrée dans les mailles d'un vaste filet sismique, et il n'y a plus qu'à les resserrer.

Ces observatoires enregistrent de nombreuses vibrations sismiques. Les unes correspondent à des secousses locales, plus ou moins intenses, plus ou moins rapprochées, les autres à des séismes lointains, d'autres enfin à rien qui ait

été ressenti quelque part à la surface du globe sous forme de séismes. Dès qu'un tremblement de terre d'origine quelconque atteint une certaine intensité — pas n'est besoin qu'il soit dévastateur — ses vibrations actionnent les sismographes du monde entier ; elles peuvent même revenir au point de départ, retour par l'antipode. Ces vibrations sont au moins de trois espèces différentes, dont les vitesses de propagation sont inégales, trois, cinq et dix kilomètres par seconde environ. Les plus lentes correspondent à la propagation à la surface terrestre autour du point d'ébranlement, comme les ondes d'un jet de pierre dans une eau tranquille. Il est clair que par comparaison de leurs sismogrammes et du temps auquel ils ont été enregistrés, les observatoires seuls pourront affirmer qu'un tremblement de terre a eu lieu dans telle région éloignée du globe, terrestre ou océanique, sans qu'ils aient besoin d'en être autrement avertis. Il est déjà surprenant que l'Observatoire d'Uccle puisse annoncer à Bruxelles un séisme de l'Inde ou de la Nouvelle-Zélande avant le télégraphe lui-même.

Les vibrations plus rapides correspondent à la traversée du globe de part en part de l'ébranlement sismique. Ce sont des ondes élastiques prévues par les théories mathématiques et leur étude peut conduire à des notions très étendues sur l'état interne du globe. On sait déjà, et c'est un résultat irréfutable parce qu'il est de pure observation, que le noyau central doit, en tout état de composition et de constitution, posséder une rigidité au moins double de celle de l'acier. Ce résultat est-il compatible avec la classique fluidité de l'intérieur de la terre? *Chi lo sà?* Se serait-on attendu, il y a peu d'années, à voir l'étude des tremblements de terre nous donner de si précieux renseignements sur l'inaccessible noyau central?

Si les sismographes enregistrent tout tremblement de terre un peu intense, où qu'il se produise, il s'ensuit cette conséquence inattendue que, théoriquement du moins, un

seul observatoire sismologique suffirait à les observer tous d'un seul point de la surface terrestre. C'est peut-être ce que se sont dit les pays qui se sont abstenus à la Conférence de Strasbourg, d'où est sortie, il y a quelques mois, une organisation systématique internationale des observations sismologiques à la surface de la terre. On va pouvoir dès maintenant compléter la carte sismique du globe et identifier entre elles les observations faites dans les divers observatoires. Le nombre des sismogrammes ne correspondant à aucun tremblement de terre connu diminuera certainement dans de grandes proportions, mais il restera toujours un résidu qui ne pourra disparaître. Il y a en effet tout lieu de supposer que nombre de vibrations ne correspondent à aucun tremblement de terre, mais sont produites par des phénomènes tout différents et pour lesquels la recherche des lois périodiques, chères aux météorologistes, conserve sa légitimité — réaction de la pression atmosphérique sur la croûte terrestre, échauffement solaire inégal des deux versants d'une chaîne de montagnes, action du vent, accumulation des neiges, marées, etc., toutes manifestations qui ne laissent pas que de se traduire par des vibrations minuscules, impressionnant les sismographes, tant est grande leur sensibilité. On doit penser aussi que l'intérieur de l'écorce, même à une grande profondeur, n'est point cristallisé dans un repos absolu, et qu'il s'y passe encore d'intenses phénomènes mécaniques, chimiques ou autres, sur lesquels les sismographes sont appelés à nous renseigner un jour. Peut-être quelques-unes de ces vibrations non identifiables avec des tremblements de terre leur correspondent-elles.

La possibilité d'observer les tremblements de terre d'un point quelconque de la surface du globe, lorsqu'ils atteignent un certain degré d'intensité, a conduit Milne à des résultats surprenants. Il a pris les années 1898 à 1900 et les quelques deux cent cinquante séismes qui,

pendant ce laps de temps, ont actionné les sismographes du monde entier et que, de ce chef, on pourrait qualifier d'universels. Des différences entre les temps auxquels ils ont été signalés dans les divers observatoires, il a facilement déduit les coordonnées de leurs origines respectives. Ces points de départ des ébranlements ont défini à la surface du globe un certain nombre de régions d'où ils émanent, le reste de la surface terrestre n'en possédant aucun. Ces régions sont placées le long des grandes lignes de relief, là où au pied des grandes chaînes les différences d'altitude et les pentes prennent une valeur considérable. Plusieurs sont tout entières océaniques, mais n'échappent point à la règle pour cela, car elles se rencontrent au voisinage des fosses sous-marines les plus profondes. C'est ainsi que par une méthode indirecte le savant sismologue anglais a retrouvé les lois de relation entre le relief et la sismicité, que l'observation directe avait permis d'énoncer dès 1895. Ces lois n'en acquièrent ainsi que plus de force et s'imposent maintenant comme un fait d'expérience doublement constaté.

Les phénomènes météorologiques présentent à un haut degré un caractère de périodicité qu'ils doivent au retour de la terre aux mêmes points de son orbite. On a déjà eu l'occasion de dire que les recherches dans ce sens ont été absolument vaines en ce qui concerne les tremblements de terre véritables, parce que rien ne ramène pour un point de l'écorce terrestre des conditions semblables, même de loin, à celles qui s'y étaient présentées antérieurement. Aussi, bien des savants y ont usé leur vie sans réussir à les découvrir. Faut-il citer Alexis Perrey, qui n'a guère trouvé qu'en Belgique l'accueil et l'appui que devaient lui mériter dans son propre pays ses immenses catalogues sismiques ? C'est par la connaissance de lois périodiques, par la détermination de cycles de longues durées et par d'autres moyens accessoires, touchant à la nature et à la marche mêmes des phéno-

mènes, que les météorologistes arriveront, bientôt peut-être, on peut du moins l'espérer, à la solution du problème capital de leur science, la prévision du temps. On peut dire qu'ils y touchent, qu'ils brûlent, comme dans un jeu de famille bien connu. En pourra-t-il être de même un jour pour les phénomènes sismiques ? Non sans doute, du moins par la même voie, puisqu'ils n'obéissent à aucune loi périodique, et, circonstance aggravante par rapport aux météores, parce que leur lieu d'origine, l'intérieur de la terre, restera probablement toujours bien plus inaccessible que l'atmosphère dont on fait explorer les régions les plus élevées par les ballons-sondes. Il n'est cependant pas tout à fait téméraire de supposer que dans un avenir, assurément très lointain, les sismologues arriveront peut-être à prédire les tremblements de terre. En effet les grands séismes n'arrivent pas inopinément, le plus souvent du moins. Ils sont préparés, signalés même, un certain temps à l'avance par des secousses prémonitoires plus ou moins fortes, mais dans tous les cas nettement anormales par rapport à la fréquence habituelle dans la région considérée, par rapport à son régime sismique ordinaire, pourrait-on dire. Cette exacerbation des secousses s'accentue graduellement quant au nombre et à l'intensité, puis un beau jour la catastrophe éclate. Les esprits attentifs le savent bien dans les pays si souvent dévastés de l'Amérique espagnole, et les gens avisés s'empressent de bâtir de légères constructions, des *ranchos*, pour s'y réfugier, eux et leurs familles, dès que le danger devient plus menaçant. Il est vrai qu'ils s'y laissent prendre eux-mêmes parfois, et que souvent ces précautions ne servent qu'aux survivants. Après le tremblement de terre tout rentre dans l'ordre, mais bien plus lentement toutefois, de sorte que les secousses consécutives sont généralement plus nombreuses que les prémonitoires. Quelquefois même des répétitions violentes complètent les ruines déjà produites. Quoi qu'il en soit, on connaît très bien maintenant

la relation mathématique reliant le temps avec le nombre des secousses anormales consécutives. Cette même relation pour les secousses prémonitoires est encore à trouver. Rien n'empêche donc de supposer qu'une connaissance plus approfondie de cette marche ne permette un jour de prévoir à l'avance, et avec plus ou moins de précision, le temps nécessaire à son évolution pour atteindre le maximum, c'est-à-dire le moment où le désastre se produira probablement. En outre, les secousses prémonitoires possèdent peut-être quelque caractère spécial, encore inconnu, mais reconnaissable aux sismogrammes de l'avenir et permettant de les distinguer des secousses ordinaires du pays. Dès ce moment la prévision des grands tremblements de terre ne sera plus un rêve comme aujourd'hui, mais entrera dans le domaine des plus utiles réalités. En tout cas la solution du problème, si cette voie y conduit un jour, nécessitera une connaissance très précise du régime sismique propre à chaque région, ce qui suppose de longues, très longues périodes d'observations suivies. Mettez, si vous le voulez, que ce ne soit qu'un rêve, il m'aura permis d'exposer la façon dont les grands tremblements de terre se préparent et se continuent, en un mot, de vous décrire ce qu'on a appelé la tempête sismique, dont la durée totale atteint des mois, voire même des années. Quelquefois la catastrophe manque, et le tout constitue un essaim de tremblements de terre.

Depuis quelques années l'attention des géodésiens se porte sur les anomalies de la pesanteur. Par la petitesse des effets à mesurer, c'est là un sujet des plus délicats, et l'on conçoit très bien qu'il soit lié aux déviations locales de la verticale. La sismologie a la prétention d'être consultée dans cette intéressante question, et l'un des membres les plus connus de la Société, M. de Lapparent, montrait récemment à l'Académie des Sciences de Paris, comment ces anomalies pour l'Italie méridionale dépendent des dislocations de l'écorce terrestre et des lignes d'insta-

bilité sismique, à la suite des études de Riccò. Permettez-moi de citer un autre exemple, parce qu'il montre bien comment tout se tient dans la nature et combien la sismologie a le droit de dire : *Quo non ascendam ?* De chaque côté de la vallée du Gange, le fil à plomb est dévié vers son milieu, contrairement à ce qu'on aurait pu croire, au moins vers le nord à cause de l'imposante masse de l'Himalaya. Ce résultat s'explique si l'on admet que sous les épaisses alluvions de la plaine se cachent des roches très denses, capables donc de contrebalancer l'attraction de la chaîne et même de la vaincre. Or, qui dit roches denses appelle par cela même ordinairement l'idée de chaîne. Il n'y en a pas, il en a donc existé une, dont les racines seules subsistent dans la profondeur, rabotée qu'elle a dû être par les agents atmosphériques. Cette conception hardie est corroborée par l'instabilité sismique, évoquant la présence de dislocations cachées elles aussi et expliquant le manque d'équilibre des fondements de la chaîne disparue. Donc ici fil à plomb, pendule et sismographe s'accordent pour nous permettre de reconstituer une phase importante de l'histoire géologique d'une région, et ce en l'absence de tout vestige matériel extérieur.

Rien n'est immuable dans la nature dont le perpétuel mouvement et l'incessant devenir sont la loi la plus générale, et cet indiscret touche-à-tout qu'est la science moderne ne laisse décidément debout aucune des entités d'autrefois. C'est ainsi que depuis peu d'années la latitude n'apparaît plus comme un élément fondamental, invariable. Il faut donc que le pôle divague aussi à la surface du globe. Les mouvements en question se réduisent à quelque vingt ou vingt-cinq mètres autour de sa position moyenne, et il semble décrire une sorte de spirale en une période tout à fait différente de celle de l'année. Ce phénomène reste encore bien mystérieux, mais nous ne saurions passer sous silence que deux éminents sismologues, MM. Milne et Cancani, veulent le voir en relation avec l'acti-

vité sismique. Assurément la question n'est pas mûre, mais, s'il s'agit là de déplacements de masses à l'intérieur de la terre, la sismologie veut dire son mot.

Il semble bien que perturbations magnétiques et sismiques coïncident quelquefois. C'est là un vaste champ d'études fort intéressant et qui a trouvé un savant belge pour l'exploiter, M. E. Lagrange.

Il n'est pas certain que les Mistpœffers, ces mystérieux bruits de la mer du Nord, à laquelle ils ne sont d'ailleurs pas exclusivement propres, tels les Barrisal-Guns du delta du Gange et les Marinas d'Italie, soient d'origine sismique. Ils font l'objet des préoccupations de mon savant ami, M. Van den Broeck.

Depuis quelques années la Société belge de géologie, paléontologie et hydrologie a inscrit à son programme, et c'est là un but humanitaire de premier ordre, la recherche des relations qui peuvent exister, et sont admises par plusieurs savants, entre les vibrations de l'écorce terrestre et les dégagements de grisou. Les observations du sismographe installé au fond de la mine de l'Agrappe aideront peut-être à la solution de cet angoissant problème : *la prévision des coups de grisou.* La sismologie descendant des hauteurs de la spéculation méritera peut-être ainsi la reconnaissance des mineurs du monde entier.

On trouvera sans doute fort étrange que, parlant des tremblements de terre, on reste absolument muet sur les volcans. Les deux redoutables phénomènes sont si souvent accouplés. Volcans et tremblements de terre sont le titre d'un nombre incalculable de livres de vulgarisation et de chapitres de traités de géographie et de géologie. D'après tout ce qu'on sait, en effet, actuellement des tremblements de terre, il est certain aujourd'hui que ce sont des mouvements tout à fait indépendants des volcans, quoiqu'ils aient une origine commune. Qui ne se rappelle l'effroyable catastrophe de la Martinique dont M. de Lapparent vous a si brillamment entretenus l'année dernière ? Et cepen-

dant, l'île est restée inébranlable sur ses fondements. Sismicité et volcanicité résultent bien d'une même cause première, la déformation de l'écorce terrestre sous l'influence de son refroidissement et de son ratatinement séculaires — je ne trouve pas d'expression plus suggestive — mais elles n'ont pas les mêmes causes secondes. La sismicité est indirectement un effet de la pesanteur et se manifeste surtout le long et à proximité de la fracture sous-marine, en tout cas du côté le plus abaissé des compartiments effondrés, tandis que la volcanicité, et son stade ultime la thermalité, ont pour point de départ la tendance des gaz et des vapeurs à s'échapper de l'écorce terrestre et se montrent surtout du côté opposé des grandes fractures. En outre le voisinage, au moins relatif, de la mer n'est plus considéré comme un facteur nécessaire de la formation des volcans, comme on le croyait autrefois.

Nous avons parcouru maintenant les principaux et plus intéressants domaines de la sismologie. Nous avons montré qu'elle éclaire singulièrement toute l'histoire géologique et géographique du globe terrestre et, en un mot, la Géophysique, qu'elle embrasse tous les mouvements de son écorce, petits ou grands, brusques ou lents, passagers ou permanents ; nous avons vu enfin qu'elle permet de spéculer, dans le bon sens du mot, sur la constitution et l'état internes de la planète, naguère réputés inaccessibles. Mais à ce compte seul elle serait restée l'apanage de quelques passionnés et n'aurait pas mérité de provoquer en aussi peu d'années un mouvement scientifique presque sans exemple. C'est qu'on a le droit de lui demander autre chose pour le bien de l'humanité, l'atténuation, au moins dans une certaine mesure, des désastres causés par les tremblements de terre. Elle ne saurait faillir à cette tâche.

Un tel but peut sembler passablement téméraire et osé, les tremblements de terre passant dans l'opinion publique pour des phénomènes contre lesquels la science et la

sagesse humaines ne peuvent rien et devant lesquels il n'y a qu'à s'incliner en face de l'inéluctable. L'immensité de certains désastres, véritables événements historiques, le grand nombre des victimes écrasées sous les débris de leurs habitations, les édifices, qui font la gloire et l'ornement des capitales, comme pulvérisés au milieu des maisons renversées, les terribles incendies qui complètent la catastrophe en brûlant vivants des milliers de blessés avant qu'on ait pu les arracher aux décombres sous lesquels ils sont à moitié ensevelis, tout ce sombre tableau fait des séismes un véritable fléau de Dieu. Il est cependant facile de montrer par de nombreux exemples combien il est au pouvoir de l'homme, non de s'en affranchir complètement, mais de diminuer les dommages dans une proportion que l'on peut, sans crainte d'exagération, estimer aux deux tiers.

On voit, en effet, dans les pires désastres, des maisons voisines souffrir très différemment, et dans une même ville certains quartiers échapper à la ruine. Avec un peu d'attention, on s'aperçoit vite que les maisons construites suivant toutes les règles de l'art résistent le plus souvent assez bien et s'en tirent avec des dégâts sans grande importance, surtout lorsqu'elles n'occupent pas des situations topographiques que l'expérience apprend être fatalement dangereuses. Dans des pays très exposés, de nombreux monuments classiques, grecs ou romains, ont victorieusement résisté à l'effort des siècles et à de nombreux tremblements de terre. L'emploi de matériaux d'excellente qualité s'impose, et de fait les habitations de la partie pauvre des populations souffrent incomparablement plus que les autres. C'est donc une tâche importante de la sismologie d'étudier les meilleures méthodes de construction dans les pays à tremblements de terre. L'art de construire est tout entier basé sur la nécessité de résister à une force continue verticale de haut en bas, la pesanteur. Dans les pays instables il s'y ajoute des forces brusques ou ondula-

toires, verticales de bas en haut et horizontales, auxquelles il s'agit de résister. C'est là un chapitre utilitaire de la sismologie où il reste encore beaucoup à faire, malgré les règlements d'édilité que plusieurs villes se sont donnés après des catastrophes, comme Norcia, Ischia, Manille, Lisbonne, mais que la routine et l'incurie ont vite laissés tomber en désuétude, jusqu'à ce qu'une nouvelle épreuve vienne arracher à leurs habitants un trop tardif *meâ culpâ*, ce qui ne saurait manquer.

Mais outre la question des règles spéciales aux pays à tremblements de terre et qui résultent pour l'art des constructions de la nécessité de résister à des forces nouvelles, l'étude de leur assiette topographique y prend une importance capitale. On ne saurait établir de règles générales. Tantôt ce sont les sols durs qu'il faut préférer, tantôt les sols mous. Ici les hauteurs sont moins exposées que les bas, et ailleurs c'est le contraire. C'est que l'enchevêtrement des conditions de situation et de composition exclut toute solution générale du problème. On est donc réduit à s'en référer à l'expérience, guidée toutefois par certains principes généraux et aussi par les résultats des expériences des sismologues japonais que nous ne pouvons malheureusement qu'indiquer très succinctement. Tokyo est une ville immense et où est grande la diversité des terrains sur lesquels elle est bâtie. On a installé en divers de ses points des sismographes, et en outre de nombreux observateurs bénévoles se sont mis à la disposition des savants enquêteurs pour les renseigner d'une façon très précise sur la façon dont les nombreuses et fréquentes secousses du pays ébranlent les divers quartiers de la ville. Ces recherches complétées par les renseignements déduits des désastres sismiques antérieurs ont permis de se rendre un compte exact de la stabilité relative des diverses parties de Tokyo. Cette reconnaissance sismique a eu cette conséquence curieuse d'influer sur le prix des terrains suivant les quartiers et sur le taux des hypothèques des immeubles.

Certains terrains ne trouvent même plus d'acquéreurs. Un semblable travail a été exécuté pour toute l'île d'Ischia après la catastrophe de 1883, et le gouvernement a interdit formellement de bâtir en certains endroits. De semblables études s'imposent comme une nécessité absolue dans toutes les villes exposées, et dans toutes les régions instables. C'est là une tâche considérable dévolue aux sismologues qui ont pour devoir strict de ne pas se confiner dans leurs intéressantes recherches théoriques, mais doivent songer aussi un peu au bien de leurs semblables.

On voit d'après ce qui précède quel vaste champ de connaissances diverses doit cultiver le sismologue. Il faut qu'il soit géographe et géologue pour rechercher les causes des tremblements de terre, il faut aussi qu'il soit physicien et mécanicien pour utiliser et inventer les appareils sismographiques et scruter la nature intime du mouvement sismique. Cela explique pourquoi les sismologues ont presque tous dû se spécialiser dans l'une ou l'autre direction, l'intelligence humaine permettant difficilement d'aborder simultanément autant de sciences différentes.

Les tremblements de terre, chose assez inattendue, ne sont pas dénués de toute application pratique. Au point de vue géographique, ils permettent de calculer la profondeur moyenne d'un océan au moyen de l'observation des temps que les ondes développées au sein de la masse liquide mettent à le parcourir. C'est ce que l'on a pu faire pour les séismes japonais signalés aux marégraphes de San-Francisco, ou pour ceux de la côte chilienne observés à ces mêmes instruments à la Nouvelle-Zélande. Cette méthode donne des résultats fort concordants avec ceux des sondages et mérite d'être employée. Les deux se contrôlent mutuellement.

Il est une autre application, beaucoup plus pratique et plus utile, que l'on ne saurait passer sous silence. Les sismologues japonais, sous la direction d'Omori et de Tanakadate, auxquels on doit tant de beaux travaux sur

les tremblements de terre, ont, après le grand séisme du Japon central en 1891, appliqué les sismographes à la recherche des formes les plus stables et les plus résistantes des constructions et de leurs principaux éléments sous l'action des tremblements de terre. Puis, très logiquement, ils ont appliqué ces mêmes instruments à l'étude des mouvements communiqués aux ponts métalliques des chemins de fer par le passage des trains, lourds ou légers, lents ou rapides, de manière à voir, au moyen des sismogrammes enregistrés, comment travaillent leurs diverses parties, et en déduire les formes et les dimensions les plus favorables. Ces recherches ont donné les résultats les plus intéressants pour la construction de ces ponts, indépendamment de toute question de résistance aux tremblements de terre.

Poursuivant cette féconde innovation, Omori et ses collaborateurs ont, en 1894, doté douze ponts des chemins de fer japonais de sismographes installés en permanence pour suivre pas à pas le progrès de leur usure en service normal. Ils pourront dans ces conditions déterminer le moment précis où il faudra les réparer, et même, le cas échéant, les refaire complètement pour la plus grande sécurité des voyageurs. Cette méthode intéressante a été suivie par Belar, en 1900, pour le pont de Moor près de Laybach. En surveillant ainsi constamment ces ouvrages d'art, on pourra éviter des catastrophes comme celle du 14 juin 1891 au pont de Mönchestein, près de Bâle, où soixante-quatorze morts et deux cent cinquante à trois cents blessés furent peut-être victimes d'un état d'usure insoupçonnée.

Enfin la même méthode a servi, en mai 1902, aux ingénieurs Bitter et Komoos pour étudier l'état à ce moment de quatorze voies ferrées aux environs de Laybach, par la comparaison des sismogrammes obtenus avec ceux qu'aurait donnés une voie semblable, mais neuve.

On voit combien les services d'inspection d'État et même

les compagnies de chemins de fer auraient intérêt à généraliser l'emploi d'un procédé assurant aussi complètement la sécurité de millions de voyageurs. Combien de catastrophes seraient évitées de la sorte ! Une fois de plus, le bien peut venir du pire mal ; il était intéressant de le signaler pour les tremblements de terre qui ont indirectement conduit à ces résultats.

J'ai terminé la tâche que la Société m'avait fait l'honneur de me confier, heureux si j'ai pu allumer chez quelques-uns d'entre vous l'étincelle qui en fera des sismologues pour le plus grand bien d'une science aussi élevée qu'utile à l'humanité.

REVUE DES QUESTIONS SCIENTIFIQUES

PUBLIÉE PAR

LA SOCIÉTÉ SCIENTIFIQUE DE BRUXELLES

TROISIÈME SÉRIE

Cette revue de haute vulgarisation, fondée en 1877 par la Société scientifique de Bruxelles, se compose actuellement de deux séries : la **première série** comprend 30 volumes (1877-1891) ; la **deuxième**, 20 volumes (1892-1901) ; la livraison de janvier 1902 a inauguré la **troisième série**.

Elle paraît en livraisons trimestrielles de 352 pages, à la fin de janvier, d'avril, de juillet et d'octobre. Chaque livraison renferme trois parties principales.

La **première partie** se compose d'**Articles originaux,** où sont traités les sujets les plus variés se rapportant à l'ensemble des sciences mathématiques, physiques, naturelles, sociales, etc.

La **deuxième partie** consiste en une **Bibliographie scientifique,** où l'on trouve un compte rendu détaillé et l'analyse critique des principaux ouvrages scientifiques récemment parus.

La **troisième partie** consiste en une **Revue des Revues** et des **Publications périodiques,** où des écrivains spéciaux résument ce qui paraît de plus intéressant dans les archives scientifiques et littéraires de notre temps.

Outre ces trois parties, chaque livraison contient ordinairement un ou plusieurs articles de **Variétés.**

CONDITIONS D'ABONNEMENT

Le prix d'abonnement à la *Revue des Questions scientifiques* est de **20 francs** par an. Les membres de la Société scientifique de Bruxelles ont droit à une réduction de **25 %** ; le prix de leur abonnement est donc de **15 francs** par an.

—

Table analytique des cinquante premiers volumes de la Revue. Un vol. du format de la Revue de XII-168 pages. Prix : 5 francs ; pour les abonnés, 2 francs.

—

La collection complète et les volumes isolés seront fournis aux nouveaux abonnés à des conditions très avantageuses.

S'adresser pour tout ce qui concerne la **Rédaction** *et l'* **Administration** *au secrétariat de la Société scientifique,* 11, *rue des Récollets, Louvain.*


Stanford University Libraries
3 6105 011 770 075

